

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Головченка Максима Миколайовича

на тему «Методи та програмні засоби багатовимірної поліноміальної регресії  
за надлишковим описом на основі побудови одновимірної регресії з  
використанням ортогональних поліномів Форсайта»,  
представлену на здобуття ступеня доктора філософії  
в галузі знань 12 Інформаційні технології  
за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення

### **Актуальність теми дисертації.**

Дисертаційна робота присвячена розробці методів та відповідних програмних засобів побудови адекватної формальної статичної моделі досліджуваного об'єкта, що функціонує під впливом випадкових факторів. Область дослідження – регресійний аналіз. Можна погодитись з автором, який на основі проведеного ним наукового порівняльного аналізу прийшов до висновку, що на теперішній час універсального методу побудови багатовимірних лінійних, а тим паче нелінійних, регресій, який би домінував над іншими (на основі теоретичного або експериментального обґрунтування), не існує, а значить, наукові та експериментальні дослідження в цій галузі і досі є актуальними і необхідними. Не можна не відмітити певну оригінальність постановки задачі досліджень – створення програмного забезпечення на основі запропонованого нового універсального методу побудови багатовимірної поліноміальної регресії, заданої надлишковим описом, що має одночасно переваги класичних та евристичних методів. Таким чином, можна константувати, що сформульована в дисертаційній роботі наукова проблема є актуальною і має як теоретичне, так і безумовно практичне значення.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

– **вперше** розроблено синтетичний метод побудови багатовимірної поліноміальної регресії, заданої надлишковим описом, що відрізняється від існуючих тим, що органічно поєднує риси класичного методу (теоретично обґрунтовані випадки, в яких оцінка коефіцієнтів при нелінійних членах знаходиться з заданою точністю) з ефективністю евристичних методів (знаходження структу-

ри регресії з використанням перевіркою послідовності в модифікованому методі групового урахування аргументів, що входить в склад синтетичного методу), а також включає в себе метод побудови одновимірної поліноміальної регресії на основі довільного повторного активного експерименту з використанням лише одного набору нормованих ортогональних поліномів Форсайта, декпозиційний метод оцінки коефіцієнтів при нелінійних членах багатовимірної поліноміальної регресії з наперед заданою точністю, що багатовимірну задачу зводить до послідовної побудови відповідних одновимірних поліноміальних регресій.

- **вперше** обґрунтовано можливість знаходження нормованих ортогональних поліномів Форсайта з наперед заданою точністю, яка досягається за рахунок представлення даних у вигляді раціональних дробів та застосування до них символічних обчислень, що дозволяє отримати оцінки коефіцієнтів при нелінійних членах багатовимірної поліноміальної регресії, значення яких відповідають теоретично виведеним умовам.

- **вперше** приведено теоретичне обґрунтування зменшення обчислювальної складності програмного забезпечення реалізації методу найменших квадратів на основі повторних експериментів, що полягає в заміні операцій з матрицями повного активного експерименту операціями з матрицями основного експерименту суттєво меншої розмірності.

- **вперше** запропоновано архітектуру кросплатформної бібліотеки для реалізації синтетичного методу та його складових, яка дозволяє використовувати її компоненти, як окремо, так і в цілому для розв'язання прикладних задач побудови регресійних моделей.

Крім того, не можна не відмітити наступні наукові та практичні результати, отримані в дисертаційній роботі:

- проведено дослідження ефективності алгоритмів, що реалізують операції з матрицями в методі найменших квадратів, зокрема обґрунтовано можливість використання паралельних обчислень.

- виконано дослідження ефективності алгоритмів множення матриць та обернення матриць, як складових задач знаходження оцінок коефіцієнтів багатовимірної поліноміальної регресії модифікованим методом групового урахування аргументів.

- приведено обґрунтування можливості розпаралелювання обчислень в модифікованому методі групового урахування аргументів для знаходження оцінок коефіцієнтів часткових описів та залишкових сум квадратів.

- реалізовано кросплатформну бібліотеку та її програмний інтерфейс для побудови регресійних моделей.

Достовірність, обґрунтованість отриманих наукових результатів засновані на строгих теоретичних положеннях, доведених автором, та статистично достовірних результатах експериментальних досліджень, що коректно використовують положення теорії ймовірностей, регресійного аналізу, теорії матриць, математичного та комп'ютерного моделювання, професійного використання методів та засобів в області інженерії програмного забезпечення.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

**Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Головченка М.М. повністю відповідає Стандарту вищої освіти третього (освітньо-наукового) рівня зі спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми третього (освітньо-наукового) рівня «Інженерія програмного забезпечення».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача в науковий напрям «Створення нових ефективних методів побудови багатовимірної поліноміальної регресії і на їх основі обґрунтованого ефективного програмного забезпечення».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Головченка М.М. є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

**Мова та стиль викладення результатів.**

Дисертаційна робота написана грамотною українською мовою, рукопис відповідає встановленим вимогам до оформлення та подання друкованих робіт наукового характеру. Слід відзначити доступність викладення, коректне використання наукової термінології. Матеріал дисертації розташований в логічній послідовності, стиль викладення тексту доступний до сприйняття.

Дисертація складається з анотації, написаної українською та англійською мовами, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 84 найменувань на дев'яти сторінках та чотирьох додатків. Загальний обсяг дисертації становить 185 сторінок, з яких 128 сторінок основного тексту, містить 23 рисунки та 24 таблиці.

У вступі автор обґрунтував актуальність проблеми наукового дослідження, сформулював мету і завдання дослідження, наукову новизну отриманих в дисертаційній роботі результатів.

Перший розділ містить критичний аналіз відомих класичних та евристичних методів побудови багатовимірних регресій, порівняльний аналіз існуючих відповідних програмних продуктів, зокрема, програмних пакетів та програмних бібліотек. І на завершення автор формулює і обґрунтовує мету дослідження та перелік задач, що розв'язуються в дисертаційній роботі.

Другий розділ присвячений викладенню основних теоретичних положень запропонованого нового універсального методу побудови багатовимірної поліноміальної регресії, заданої надлишковим описом. Метод поєднує в собі два окремих метода, що реалізуються послідовно один за одним. Перший метод – декомпозиційний, носить риси класичного, так як містить теоретично обґрунтовані умови отримання оцінок при нелінійних членах багатовимірної поліноміальної регресії з наперед заданою точністю. Показано, що використання активного експерименту дозволяє багатовимірну задачу звести до послідовної побудови одновимірних поліноміальних регресій. При цьому теоретично обґрунтована можливість при використанні довільних повторних експериментів і довільних областей можливих значень вхідних змінних використовувати лише один набір нормованих ортогональних поліномів Форсайта. Другий метод – модифікований метод групового урахування аргументів – знаходить статистично значимо правильну структуру багатовимірної поліноміальної регресії та оцінює значення коефіцієнтів при нелінійних членах багатовимірної поліноміальної регресії, що не були знайдені при реалізації декомпозиційного методу. Треба відмітити оригінальність ідеї розбиття всіх невідомих коефіцієнтів на два класи, що дозволяє суттєво зменшити множину часткових описів багатовимірних поліноміальних регресій, якій практично гарантовано належить шукана структура регресії.

Третій розділ містить елементи оптимізації програмної реалізації синтетичного методу, до яких в першу чергу треба віднести:

- 1) використання символьних обчислень для побудови з заданою точністю коефіцієнтів нормованих ортогональних поліномів Форсайта;
- 2) теоретично обґрунтоване спрощення програмної реалізації методу найменших квадратів при використанні повторних експериментів.

Четвертий розділ присвячений розробці кроссплатформної бібліотеки, що реалізує запропоновані методи. Всі аспекти проектування, включаючи опис програмного інтерфейсу, архітектури програмного забезпечення, дослідження

ефективності та вимог до користувача описані детально і на високому професійному рівні.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.**

Наукові результати дисертації висвітлені у 7 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 5 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 2 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базі даних Scopus.

Також результати дисертації були апробовані на 3 наукових фахових конференціях.

Аналіз наведених публікацій показує, що в них повністю висвітлені основні результати дисертаційної роботи. В усіх публікаціях дотримуються принципи академічної доброчесності.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1) При знаходженні оцінок коефіцієнтів при нелінійних членах БПР, що є розв'язком системи лінійних рівнянь, розмірності не менше 2, не враховано можливість зменшення по модулю значень членів оберненої матриці за рахунок довільного вибору значень фіксованих вхідних аргументів з області їх означення;

2) Недостатньо проведено статистичних обчислювальних експериментів, що гарантують ефективність наведеного в ММГУА алгоритму розбиття коефіцієнтів багатовимірної регресії, заданої надлишковим описом, на два класи, що забезпечує належність шуканої структури регресії множині часткових описів;

3) В дисертаційній роботі вказано про можливість створення індивідуальних ефективних алгоритмів знаходження оцінок при нелінійних членах БПР на основі теоретичних положень 1 та 2 підалгоритмів, але систематизація та класифікація таких алгоритмів в роботі не наведено;

4) Не введена інтегральна міра відхилень вектору оцінок коефіцієнтів багатовимірної регресії від ідеальних значень та статистично не досліджено значення цієї міри в випадках, коли ММГУА знаходить правильну структуру шуканої регресії;

5) При аналізі мов програмування не наведено переваги та недоліки кожної з них.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Головченка Максима Миколайовича на тему «Методи та програмні засоби багатовимірної поліноміальної регресії за надлишковим описом на основі побудови одновимірної регресії з використанням ортогональних поліномів Форсайта» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 12 Інформаційні технології. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Головченко Максим Миколайович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення.

### Офіційний опонент:

директор навчально-наукового інституту  
комп'ютерних наук та інформаційних технологій  
Національного технічного університету  
«Харківський політехнічний інститут»,  
доктор технічних наук, професор

Михайло ГОДЛЕВСЬКИЙ



«25» 01 2024 року

Підпис *проф. Михайло Годлевський*  
ЗАСВІДЧУЮ:  
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР  
НАЦІОНАЛЬНОГО-ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»  
«25» 01 2024 р.

ЗАВНЕР Ю.І.